

УДК 621.89.097.2

**А. А. Пивоварчик<sup>1</sup>, А. К. Гавриленя<sup>2</sup>, А. И. Сергей<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,  
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Ожешко, 22, 230021 Гродно,  
Республика Беларусь, +375 (29) 876 68 24, Pivovarchik\_AA@grsu.by

<sup>2</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,  
Министерство образования Республики Беларусь, ул. Уборевича, 21, 225404 Барановичи,  
Республика Беларусь, +375 (29) 222 59 33, AndrejGavrilenya@mail.ru

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Целью настоящей работы является исследование возможной потери эксплуатационных свойств моторного масла в процессе эксплуатации транспортных средств, таких как плотность моторного масла при 15 °С, содержание механических примесей и воды, в целях уточнения фактических сроков замены моторного масла.

Научная новизна работы состоит в получении новых экспериментальных данных по изменению плотности моторного масла при 15 °С, содержания механических примесей и воды в полусинтетических моторных маслах марки SAE 10W40 производителей компаний ЛУКОЙЛ и Ursa при изменении величины пробега транспортного средства.

Введение содержит краткую информацию по эксплуатационным показателям моторного масла, таким как плотность моторного масла при 15 °С, содержание механических примесей и воды.

В основной части работы представлены результаты исследования изменения свойств моторного масла в процессе эксплуатации транспортных средств. Показано, что содержание механических примесей в процессе эксплуатации транспортного средства у исследуемых марок масла находится в допустимом пределе при пробеге до 12 тыс. км. При пробеге транспортным средством более 16 тыс. км содержание механических примесей в исследуемых моторных маслах превышает допустимое значение. Выполненные исследования показали, что моторное масло марки АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 обладает более высокими эксплуатационными свойствами по исследуемым показателям, чем моторное масло Ursa Premium TD SAE 10W40. Замену моторных масел целесообразно проводить после 16 тыс. км пробега ввиду значительного превышения содержания механических примесей в исследуемых образцах.

Результаты исследований будут полезны инженерам-механикам при определении сроков замены моторного масла, используемого в дизельных двигателях внутреннего сгорания грузовых автобусов в целях увеличения надежности и работоспособности узлов и агрегатов двигателя.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель внутреннего сгорания; механические автотранспортные средства; моторное масло; плотность; механические примеси; содержание воды в масле.

Рис. 2. Библиогр.: 14 назв.

**А. А. Pivovarchyk<sup>1</sup>, А. К. Haurylenia<sup>2</sup>, А. I. Sergei<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Yanka Kupala State University of Grodno, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 22 Ozheshko St.,  
230021 Grodno, the Republic of Belarus, Pivovarchik\_AA@grsu.by, +375 (29) 876 68 24

<sup>2</sup>Baranovichi State University, Ministry of Education of the Republic of Belarus, 21 Voykov St.,  
225404 Baranovichi, the Republic of Belarus, AndrejGavrilenya@mail.ru, +375 (29) 222 59 33

## **THE STUDY OF PERFORMANCE ATTRIBUTES OF SEMI-SYNTHETIC MOTOR OILS USED IN DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

The aim of this paper is to study the possible loss of performance attributes of engine oil during the operation of vehicles such as: engine oil density at 15 °С, the content of mechanical impurities and water, in order to clarify the actual timing of engine oil change.

The scientific novelty of the work consists in obtaining new experimental data on the change in the density of engine oil at 15 °С, the content of mechanical impurities and water in semi-synthetic motor oils of the SAE 10W40 brand manufactured by LUKOIL and Ursa, with an increase in vehicle mileage.

The introduction contains brief information on the performance attributes of engine oil such as, engine oil density at 15 °C, the content of mechanical impurities and water.

The main part of the article presents the results of a study of changes in the properties of motor oil in vehicle operation. It is shown that the mass fraction of mechanical impurities during the operation of the vehicle for the studied brands of oil is within the allowable limit with a mileage of up to 12 thousand km. When the vehicle has run more than 16 thousand km, the content of mechanical impurities in the engine oils under study exceeds the permissible value. Studies have shown that LUKOIL VANGUARD ULTRA SAE 10W40 motor oil possesses better performance attributes according to the studied parameters than Ursa Premium TD SAE 10W40 motor oil. It is advisable to replace the motor oil after 16 thousand km of run due to a significant excess of the content of mechanical impurities in the studied samples of motor oils.

The results of the research will be useful to mechanical engineers when determining the timing for changing the engine oil used in diesel internal combustion engines of cargo buses in order to increase the reliability and efficiency of engine components and assemblies.

**Keywords:** diesel internal combustion engine; motor vehicles; motor oil; density; mechanical impurities; water mass fraction in oil.

Fig. 2. Ref.: 14 titles.

**Введение.** К числу важнейших эксплуатационных свойств моторных масел относят плотность при 15 °C, содержание механических примесей и воды. В настоящее время требования по повышению надежности и эффективности работы техники привели к значительному ужесточению эксплуатационных характеристик топлив и смазочных масел [1; 2]. Известно [1—13], что конкретные конструкционные особенности и условия эксплуатации транспортных средств должны соответствовать определенным по составу и свойствам топливу и смазочным материалам. Неправильный выбор смазочных материалов, а также несвоевременная замена моторного масла приводят к сокращению срока службы и надежности работы транспортного средства.

Имеющаяся информация в научной литературе по срокам замены моторных масел в большинстве случаев носит противоречивый характер. Исследования, выполненные в работах [1—13], показывают, что сроки замены полусинтетических моторных масел в дизельных двигателях внутреннего сгорания различны и варьируются в пределах от 18 до 30 тыс. км пробега, а также в значительной степени зависят от вида двигателя и его технического состояния, количества присадок и условий эксплуатации транспортного средства.

Вопросами замены моторных масел по их фактическому состоянию, что является наиболее рациональным с точки зрения экономии материальных затрат на эксплуатационные материалы и поддержания работоспособности подвижного состава, занимались исследователи С. В. Корнеев, А. Г. Варакин, И. И. Ширлин, А. М. Лопоткин и др. [1—8]. Кроме того, результаты научных исследований, изложенные в работах [8—13], показывают, что систематический контроль качества работоспособности моторных масел способствует существенной экономии финансовых средств, затрачиваемых на эксплуатацию автотранспортных механических средств, за счет увеличения срока службы транспортного средства.

В процессе эксплуатации в Республике Беларусь грузовых автобусов модели МАЗ 203060 замена моторного масла осуществляется в соответствии с рекомендациями, изложенными в нормативно-технической документации. Согласно ТКП 248-2010 «Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения» замена моторного масла для грузовых автобусов проводится при выполнении технического обслуживания (ТО-2) и определяется с учетом поправочных коэффициентов, характеризующих условия работы подвижного состава ( $K_1$ ) и климатические условия ( $K_3$ ). При учете вышеназванных коэффициентов рекомендуемый срок замены моторного масла составляет 24 тыс. км, при этом, однако, не учитывается марка моторного масла.

Отмечается [10—13], что замена минерального масла производится после 10...15 тыс. км пробега, а синтетического моторного масла после 20...35 тыс. км пробега. Указывается [3—13], что замена моторного масла должна осуществляться после потери моторным маслом своих эксплуатационных характеристик.

Ввиду возможного снижения эксплуатационных свойств моторного масла вследствие износа рабочих частей двигателя, воздействия на масло высоких температур и давлений, а также иных факторов замену моторного масла следует производить раньше установленного срока, указанного в нормативно-технических документах.

Известно [1—9], что значение плотности моторных масел в процессе эксплуатации транспортных средств должно находиться в интервале от 830 до 880 кг/м<sup>3</sup>. Увеличение плотности свидетельствует о наличии в моторном масле механических примесей или воды и приводит к снижению долговечности двигателя. К механическим примесям относятся все твердые вещества органического и неорганического происхождения, находящиеся в моторном масле в виде осадка или во взвешенном состоянии, которые задерживаются фильтром при фильтровании самого нефтепродукта или его бензинового раствора. В процессе хранения и работы масел они засоряются твердыми примесями, попадающими извне, а также продуктами химического превращения самих масел, работающих при высокой температуре, и продуктами износа деталей. Механические примеси, находясь в масле, вызывают повышенный износ и нагрев поверхностей трения. Они способствуют образованию шлама, который может отлагаться в маслопроводах и нарушать тем самым подвод масла к узлам трения [7; 8]. Отмечается [10; 12], что оптимальное содержание механических примесей в моторном масле в процессе эксплуатации транспортного средства должно находиться в пределах от 0,015 до 0,03 %, а содержание воды не должно превышать значений 0,03...0,05 %. При значениях содержания воды выше представленных данных рекомендуется заменить масло в кратчайшие сроки.

Целью настоящей работы является исследование возможной потери эксплуатационных свойств моторного масла в процессе эксплуатации транспортных средств, таких как плотность при 15 °С, содержание механических примесей и воды, для уточнения фактических сроков замены моторного масла.

**Методика проведения исследований.** Исследование прошли полусинтетические моторные масла, используемые в дизельных двигателях внутреннего сгорания, АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 (Россия) и Ursa Premium TD SAE 10W40 (Бельгия). Выбор указанных марок моторных масел обусловлен тем, что данные масла централизованно закупаются Республикой Беларусь и широко используются на автотранспортных предприятиях. Выбранные для исследований моторные масла заливали в двигатели пассажирских автобусов, курсирующих по городскому маршруту г. Лиды. В качестве подвижного состава были приняты 5 пассажирских автобусов марки МАЗ 203060, оборудованных дизельным двигателем DAIMLER AG с газотурбинным наддувом и охлаждением наддувочного воздуха. Выбор данного вида подвижного состава обусловлен тем, что эта модель автобусов занимает 2-е место по числу автобусов в Республике Беларусь (14 %), уступая лишь модели МАЗ-103; относится к модельному ряду второго поколения; является актуальной в настоящее время; обладает значительной продолжительностью эксплуатации и позиционируется как замена модели МАЗ-103 [14].

Непосредственно перед исследованиями каждый автобус прошел техническое обслуживание (ТО-2). Установлено, что двигатели в автобусах полностью исправны, проверено натяжение цепи газораспределительного механизма, отрегулированы тепловые зазоры, исправны стартер, генератор, приборы системы зажигания и питания, напряжение бортовой сети составило 12,6 В.

Проба для исследований отбиралась через каждые 2 000 км пробега до 20 000 км. Следует отметить, что после проведения экспериментов по исследованию свойств моторных масел образцы масла обратно заливали в двигатель автобуса. Доливание моторного масла в двигатель не проводили вследствие того, что перед проведением исследований масло заливали почти до максимального уровня по измерительному щупу, что, в свою очередь, позволило получать более корректные экспериментальные данные. Перед отбором пробы исследуемого образца и продолжением дальнейших исследований следили за фактическим уровнем моторного масла в двигателе. Определение плотности моторного масла при 15 °С, содержание механических примесей и воды проводили по стандартным методикам с использованием специализированного сертифицированного оборудования на базе республиканского дочернего унитарного предприятия по обеспечению нефтепродуктами «Белоруснефть-Гродноблнефтепродукт».

**Результаты исследований и их обсуждение.** На рисунке 1 показано изменение плотности образцов моторных масел в зависимости от пробега автотранспортного средства. Можно видеть, что плотность моторного масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 увеличивается с 870,3 до 880,5 кг / м<sup>3</sup>. Видно, что значение плотности повышается незначительно за отсчетный интервал пробега, соответствующий значению при исследовании 2 тыс. км. При этом плотность возрастает в среднем на 1,2 кг / м<sup>3</sup>. Полученный результат можно объяснить попаданием воды в двигатель, а также увеличением количества механических примесей в период эксплуатации автомобиля. Аналогичная ситуация наблюдается при исследовании плотности масла АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40. Плотность исследуемого образца увеличивается с 874,0 до 879,7 кг / м<sup>3</sup> при пробеге автомобиля в 20 тыс. км. Показано, что плотность моторного масла за время исследования выросла на 5,7 кг / м<sup>3</sup> (за каждые 2 тыс. км пробега плотность увеличивалась в среднем на 0,3 кг / м<sup>3</sup>). Наибольшее изменение значения плотности отмечено при пробеге автомобиля в первые 2 тыс. км — с 874,6 до 877,0 кг / м<sup>3</sup>, где разница между соседними контрольными интервалами измерений составила 2,4 кг / м<sup>3</sup>.

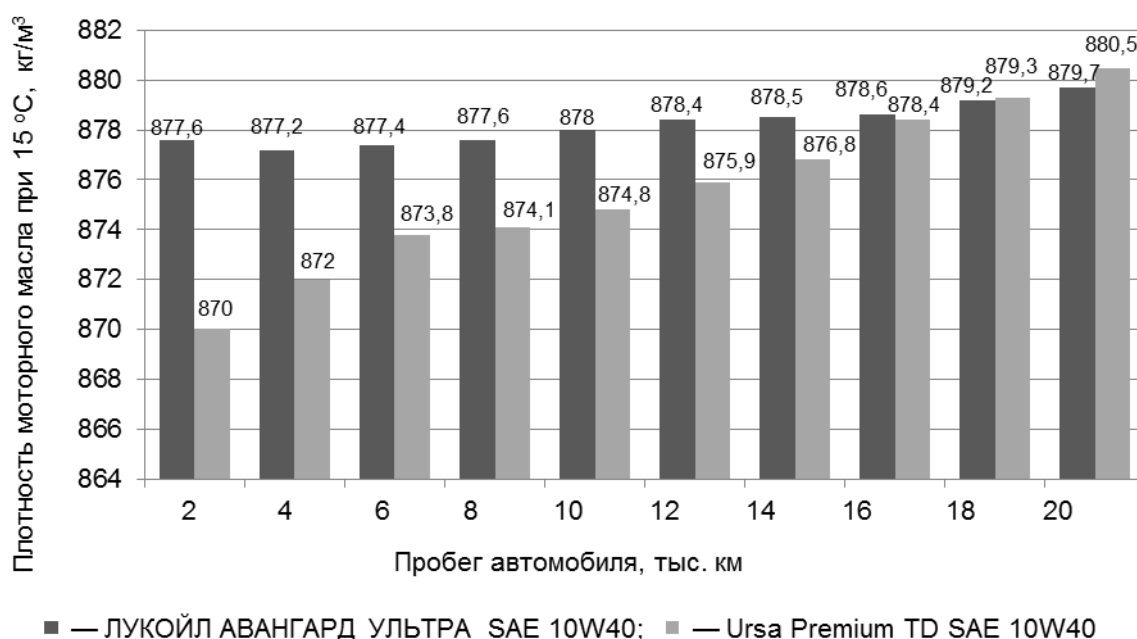
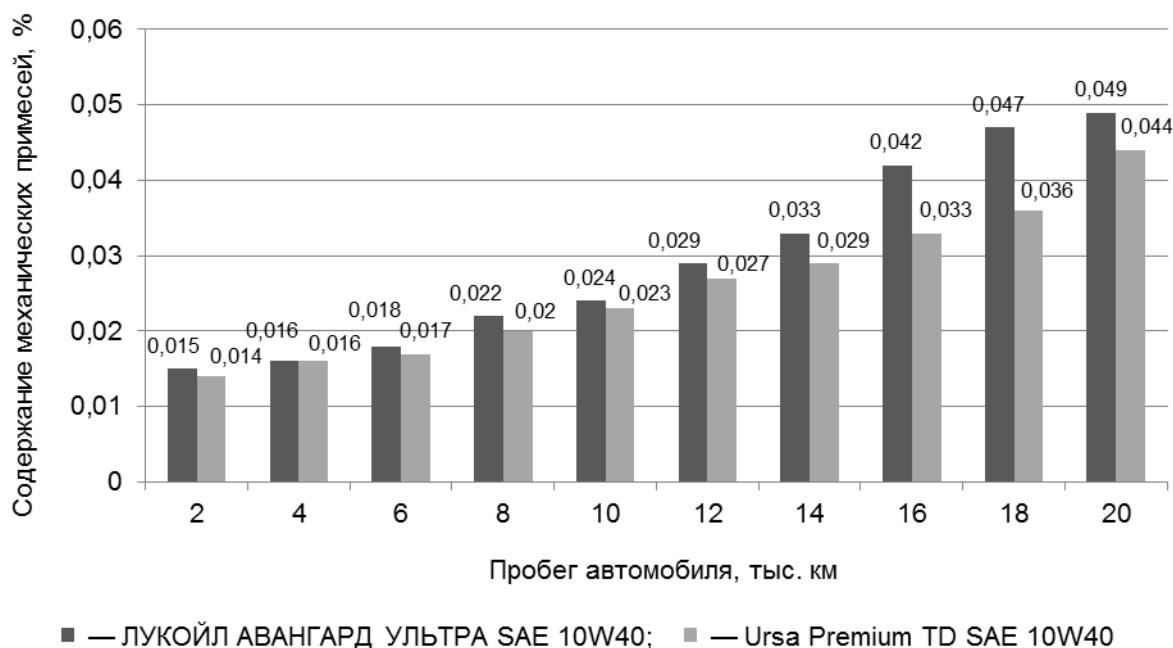


Рисунок 1. — Изменение плотности моторных масел при увеличении пробега автомобиля

Качественная картина изменения содержания механических примесей (рисунок 2) показывает, что при пробеге автомобиля до 12 тыс. км в исследуемых образцах моторного масла содержание механических примесей не превышает допустимого значения, указанного в работах [12; 13]. Следует отметить, что исследователи предъявляют более жесткие требования к содержанию механических примесей в моторных маслах: от 0,015 до 0,02 % соответственно. Видно (см. рисунок 2), что при пробеге автомобиля до 14 тыс. км в образце исследуемого масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 наблюдается рост содержания механических примесей от 0,01 до 0,029 %. При этом изменение содержания примесей носит в среднем линейный характер. Превышение нормативного значения содержания механических примесей для данного масла наблюдается при пробеге свыше 16 тыс. км и составляет 0,033 %. Дальнейшая эксплуатация двигателя при пробеге от 18 до 20 тыс. км способствует увеличению содержания механических примесей до 0,049 %, что, в свою очередь на 31 % превышает максимально допустимое значение исследуемого показателя (0,03 %).

Следует также отметить, что наиболее значительный рост содержания механических примесей в моторном масле марки Ursa Premium TD SAE 10W40 наблюдается при пробеге автомобиля в диапазоне от 14 до 16 тыс. км и составляет 0,009 %, что в среднем в 2,0...4,5 раза выше, чем значения при последующих интервалах пробега транспортного средства.

Анализ полученных экспериментальных результатов, показанных на рисунке 2, показывает, что увеличение содержания механических примесей наблюдается и при использовании моторного масла марки АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40, однако в сравнении с моторным маслом марки Ursa Premium TD SAE 10W40 превышение установленного максимального значения содержания механических примесей наблюдается не после 14 тыс. км, а при пробеге, равном 16 тыс. км. При этом значения содержания механических примесей при пробеге от 2 до 16 тыс. км изменяются с 0,014 до 0,033 %, а при пробеге от 16 тыс. км до 20 тыс. км — от 0,036 до 0,044 % соответственно.



**Рисунок 2.** — Результаты исследований по определению количества механических примесей в образцах моторных масел ЛУКОЙЛ АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40

Установлено, что увеличение числа механических примесей при использовании моторного масла марки АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 с увеличением значения пробега носит практически линейную зависимость, что свидетельствует о нормальной работе двигателя. В среднем изменение числа механических примесей при увеличении пробега на 2 тыс. км происходит на значение, равное 0,003...0,004 % до пробега, составляющего 8 тыс. км. Максимальный рост содержания механических примесей происходит в диапазоне от 18 до 20 тыс. км и составляет 0,008 %. Увеличение содержания механических примесей в моторном масле можно объяснить механическим износом цилиндропоршневой группы двигателя вследствие увеличения коэффициента трения, ввиду потери технологических свойств противоударных присадок, входящих в состав исследуемых образцов моторного масла, что коррелирует со мнением авторов работ [2; 3; 7; 11—13].

В исследуемых образцах масла марки ЛУКОЙЛ АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 при пробеге автомобиля от 2 до 24 тыс. км выявлены, согласно методике, лишь следы воды, что свидетельствует о высоком качестве масла. Установлено, что при пробеге автомобиля до 12 тыс. км в исследуемых образцах масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 выявлены лишь следы воды, как и в образцах моторного масла АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40. При последующем увеличении пробега автомобиля с 14 до 24 тыс. км в образцах масла марки Ursa Premium TD SAE 10W40 наблюдается линейный рост содержания воды с 0,01 до 0,038 % (на отметке 14 тыс. км — 0,01 %, 16 тыс. км — 0,018 %, 18 тыс. км — 0,021 %, 20 тыс. км — 0,024 %, 22 тыс. км — 0,030 %, 24 тыс. км — 0,038 %).

По результатам выполненных исследований можно утверждать, что лучшими эксплуатационными свойствами, оцениваемыми по содержанию воды в масле, обладает полусинтетическое моторное масло марки АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 в сравнении с моторным маслом марки Ursa Premium TD SAE 10W40. Причиной появления воды в моторном масле марки Ursa Premium TD SAE 10W40 может быть попадание топлива в масло, а также негерметичность охлаждающей системы двигателя внутреннего сгорания. Данная точка зрения согласуется со мнением авторов работ, изложенных в научной литературе [9; 11—13].

**Заключение.** В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что плотность изученных моторных масел при 15 °С при максимальном значении пробега (20 тыс. км) находится в рекомендуемом пределе значений. Установлено, что образующаяся массовая доля содержания механических примесей в процессе эксплуатации транспортного средства у исследуемых марок масла находится в допустимом пределе при пробеге до 12 тыс. км. При пробеге транспортным средством более 16 тыс. км содержание механических примесей в исследуемых моторных маслах превышает допустимое значение. Установлено, что содержание воды в исследуемых пробах моторных масел марок ЛУКОЙЛ АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 и Ursa Premium TD SAE 10W40 при пробеге до 24 тыс. км соответствует требованиям, установленным нормативными техническими актами.

Таким образом, выполненные исследования показали, что моторное масло марки АВАНГАРД УЛЬТРА SAE 10W40 обладает более высокими эксплуатационными свойствами по исследуемым показателям, чем моторное масло Ursa Premium TD SAE 10W40. Замену моторных масел целесообразно проводить после 16 тыс. км пробега ввиду значительного превышения содержания механических примесей.

#### Список цитируемых источников

1. Корнеев, С. В. О работоспособности моторных масел / С. В. Корнеев // Двигателестроение. — 2004. — № 4. — С. 36—38.
2. Зорин, И. А. Влияние окисления базовых минеральных моторных масел на их трибологические характеристики / И. А. Зорин, С. В. Корнеев, И. В. Финагин // Ом. науч. вестн. — 2012. — № 1. — С. 330—333.

3. Изменение характеристик моторного масла при эксплуатации двигателей Cummins Автобусного парка г. Омска / С. В. Корнеев [и др.] // Вестн. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. — 2017. — № 2 (54). — С. 66—69.
4. *Варакин, А. Г.* Сравнительный тест полусинтетических моторных масел / А. Г. Варакин, А. М. Лопоткин, А. Е. Хохлов // Вестн. Нижегород. гос. инженер.-экон. ун-та. — 2014. — № 10 (41). — С. 17—22.
5. Влияние диагностики моторного масла М10Г2К в двигателе внутреннего сгорания КАМАЗ-740 автомобиля КАМАЗ на циклы его поставки в границах технического обеспечения / К. Н. Чечулин [и др.] // Изв. Тул. гос. ун-та. — 2018. — Вып. 8. — С. 79—93.
6. *Долгова, Л. А.* Обеспечение рационального ресурса моторного масла в двигателях / Л. А. Долгова, В. В. Салмин // Вестн. Чуваш. гос. пед. ун-та им. И. Я. Яковлева. — 2012. — № 2 (74). — С. 146—156.
7. *Корнеев, С. В.* Изменение характеристик моторных масел в газопоршневых двигателях большой мощности / С. В. Корнеев // Вестн. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. — 2017. — Вып. 4—5 (56—57). — С. 37—41.
8. *Корнеев, С. В.* Оценка достоверности прогнозирования периодичности смены моторного масла в двигателях / С. В. Корнеев, А. П. Серков // Ом. науч. вестн. — 2014. — № 1. — С. 62—65.
9. *Пивоварчик, А. А.* Исследование температурно-вязкостных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в дизельных двигателях механических транспортных средств / А. А. Пивоварчик, А. И. Сергей // Весн. ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 6 : Тэхніка. — 2019. — Т. 9, № 1. — С. 78—87.
10. Влияние условий эксплуатации автомобилей на ресурс работы моторного масла / И. И. Ширлин [и др.] // Вестн. Сиб. гос. автомобил.-дорож. акад. — 2013. — Вып. 4 (32). — С. 42—45.
11. *Доблер, В. И.* Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активацией моторных масел : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / В. И. Доблер ; Том. политехн. ун-т. — Томск, 2005. — 23 с.
12. *Дашивец, Г. И.* Обоснование периодичности замены моторных масел при эксплуатации тракторных двигателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Г. И. Дашивец ; ЦНИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва нечернозем. зоны СССР. — Минск, 1990. — 15 с.
13. *Чудиновских, А. Л.* Разработка научных основ химмотологической оценки автомобильных моторных масел : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.07 / А. Л. Чудиновских ; Рос. гос. ун-т нефти и газа (нац. исслед. ун-т) им. И. М. Губкина. — М., 2016. — 50 с.
14. *Иванис, П. В.* Анализ модельного состава автобусов МАЗ, эксплуатируемых автобусными парками г. Минска / П. В. Иванис, Е. Л. Савич, А. В. Гаравский // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов. Безопасность дорожного движения : сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т. — Минск : БНТУ, 2016. — С. 437—441.

Поступила в редакцию 10.04.2020